

UDK

Primljeno

Primjena zgure iz čeličana kao agregata u betonu

Ivanka Netinger, Dubravka Bjegović, Damir Varevac, Dragan Morić

Ključne riječi

zgura iz čeličane, odlagalište u Sisku, svježi beton, armiranobetonska greda, agregat u betonu, laboratorijska ispitivanja

Key words

slag from steel industry, stockpile in Sisak, fresh concrete, reinforced-concrete beam, aggregate in concrete, laboratory tests

Mots clés

scorie d'aciérie, site d'enfouissement de Sisak, béton frais, poutre en béton armé, agrégat dans le béton, essais en laboratoire

Ключевые слова

сталеплави́льный шла́к, склад отходов в г. Сиске, свежий бетон, железобетонная балка, заполнитель для бетона, лабораторные испытания

Schlüsselworte

Stahlwerkschlacke, Deponie in Sisak, Frischbeton, Stahlbetonbalken, Zuschlagstoff im Beton, Laboruntersuchungen

I. Netinger, D. Bjegović, D. Varevac, D. Morić

Izvorni znanstveni rad

Primjena zgure iz čeličana kao agregata u betonu

U radu je prikazano istraživanje mogućnosti primjene zgure iz čeličane s odlagališta u Sisku kao agregata u betonu. Opisana su laboratorijska ispitivanja svojstava svježeg betona sa zgurinom kao zamjenom za uobičajeni agregat. Prikazana su i ispitivanja armiranobetonskih greda u kojima je kao agregat u betonu upotrebljena zgura. Na temelju analize rezultata provedenih istraživanja zaključeno je da se zgura može upotrijebiti kao agregat za beton u armiranobetonskim konstrukcijama.

I. Netinger, D. Bjegović, D. Varevac, D. Morić

Original scientific paper

Use of slag from steel industry as concrete aggregate

The study of possible use of the steel mill slag from Sisak stockpile as concrete aggregate is presented in the paper. The laboratory testing of fresh concrete, with slag as replacement for ordinary aggregate, is described. The testing of reinforced-concrete beams, in which slag is used as concrete aggregate, is also presented. According to analysis of results obtained during this study, it has been concluded that slag can be used as concrete aggregate in reinforced-concrete structures.

I. Netinger, D. Bjegović, D. Varevac, D. Morić

Ouvrage scientifique original

L'emploi de scorie d'aciérie comme granulat de béton

L'étude d'emploi possible de la scorie d'aciérie provenant du site d'enfouissement de Sisak comme granulat de béton est présentée dans l'ouvrage. Les essais en laboratoire sur béton frais, avec scorie comme remplacement d'agrégat usuel, sont décrits. Les essais sur poutres en béton armé, dans lesquelles la scorie a été utilisée comme agrégat de béton, sont également présentés. Suite à l'analyse des résultats obtenus au cours de cette étude, il a été conclu que la scorie peut être utilisée comme granulat de béton dans les structures en béton armé.

И. Нетингер, Д. Бегович, Д. Варенац, Д. Морич

Оригинальная научная работа

Применение шлака из сталеплавильных заводов в качестве заполнителя для бетона

В работе приведено исследование возможности применения сталеплавильного шлака со склада отходов в г. Сиске в качестве заполнителя для бетона. Описаны лабораторные испытания свойств свежего бетона со шлаком, заменяющим обычный заполнитель. Приведены испытания железобетонных балок, в которых шлак использовался в качестве заполнителя для бетона. На основании результатов сделано заключение, что шлак может использоваться в качестве заполнителя для бетона в железобетонных конструкциях.

I. Netinger, D. Bjegović, D. Varevac, D. Morić

Wissenschaftlicher Originalbeitrag

Anwendung der Stahlwerkschlacke als Zuschlagstoff im Beton

Im Artikel ist eine Untersuchung der Möglichkeit der Anwendung von Stahlwerkschlacke aus der Deponie in Sisak als Zuschlagstoff im Beton dargestellt. Beschrieben sind Laboruntersuchungen der Eigenschaften des Frischbetons mit Schlacke als Austausch für üblichen Zuschlagstoff. Dargestellt sind auch Untersuchungen von Stahlbetonbalken in denen als Zuschlagstoff im Beton Schlacke angewendet war. Auf Grund der Analyse der Ergebnisse der durchgeführten Untersuchungen schliesste man dass man Schlacke als Zuschlagstoff für Beton in Stahlbetonkonstruktionen anwenden kann.

Autori: Doc. dr. sc. **Ivanka Netinger**, dipl. ing. građ., Sveučilište J. J. Strossmayera Građevinski fakultet Osijek; prof. dr. sc. **Dubravka Bjegović**, dipl. ing. građ, Sveučilište u Zagrebu Građevinski fakultet Zagreb; doc. dr. **Damir Varevac**, dipl. ing. građ.; prof. dr. sc. **Dragan Morić**, dipl. ing. građ, Sveučilište J. J. Strossmayera Građevinski fakultet Osijek

1 Uvod

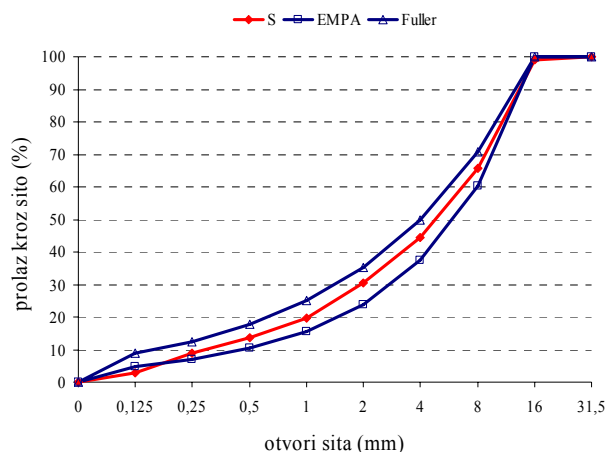
Mogućnost uporabe zgure kao agregata u betonu istražena je u nekoliko stranih radova [1-5], a rezultati istraživanja pokazali su opravdanost uporabe zgure za ovu svrhu. S obzirom na činjenicu da svojstva zgure ovise o njihovoj podrijetlu, mogućnost uporabe domaće zgure kao agregata u betonu trebalo je potvrditi nizom ispitivanja. Svojstva zgure koja su se smatrala važnim za njezinu uporabu kao agregata u betonu određena su na krupnim frakcijama (4-8 i 8-16 mm) čeličanskih zrakom hlađenih zgura podrijetlom iz Siska i Splita, u skladu s normom HRN EN 12620/AC:2006 Agregati za betone - [6]. Rezultati ispitivanja detaljno su prikazani u [7]. Prema rezultatima ispitivanja, zaključeno je da krupne frakcije zgura zadovoljavaju zahtjeve hrvatskog zakonodavstva, tj. Tehničkog propisa za betonske konstrukcije [8] te da se mogu rabiti kao zamjena za uobičajeni agregat iz prirodnih resursa. U ovom se radu otišlo korak dalje – mogućnost primjene zgure iz Siska kao agregata u betonu istražena je na razini betonskih mješavina i armiranobetonskog elementa.

2 Svojstva betona sa zgurinom kao agregatom

2.1 Projektiranje sastava betonskih mješavina i svojstva svježih betonskih mješavina

Pripremljeno je pet različitih betonskih mješavina (R, ZSI, ZSI+PP, ZSI+LP, ZSI+LP+PP), s istim sadržajem veziva (400 kg/m^3), uz istu količinu vode ($v/c = 0,43$) te s dodatkom superplastifikatora na osnovi karboksilnih eter polimera (0,75 % - 0,8 % na masu cementa). Za pripremu mješavina upotrijebljen je cement CEM I 52,5 N gustoće $3,01 \text{ kg/dm}^3$. Kod mješavina ZSI+LP, ZSI+LP+PP zamijenjeno je 20 % mase cementa s letećim pepelom gustoće $1,94 \text{ kg/dm}^3$. Svrha zamjene dijela cementa sa letećim pepelom bila je osigurati mješavinama sa zgur-

rom veće čvrstoće pri kasnijoj starosti betona. Mješavinama ZSI+PP i ZSI+LP+PP dodana su polipropilenska vlakna duljine 12 mm u iznosu od 910 g/lm^3 betona. S obzirom na to da polipropilenska vlakna povećavaju vlačnu čvrstoću betona [9], mješavinama su dodana upravo sa tim ciljem. Kemijski sastav cementa i letećeg pepela upotrijebljenih pri pripremanju betonskih mješavina prikazani su u tablici 1. Kako bi se ostvarila ista konzistencija kod svih mješavina, mješavinama u kojima se nalazi leteći pepeo dodan je manji udio superplastifikatora s obzirom na činjenicu da leteći pepeo poboljšava obradljivost mješavine [10]. Kao referentna mješavina (R) promatrana je ona s dolomitnim agregatom uobičajeno upotrijebljenim za pripremanje betona. U mješavinama ZSI, ZSI+PP, ZSI+LP, ZSI+LP+PP sitna frakcija agregata (0-4 mm) je dolomitna, a krupna frakcija agregata (4-8 mm i 8-16 mm) je zgura podrijetlom s odlagališta iz Siska. Kumulativna krivulja agregata (S) bila je ista kod sve tri mješavine (slika 1.), dobivena kao srednja krivulja između EMPA i Fuller krivulje.



Slika 1. Kumulativna krivulja prosijavanja agregata

Tablica 1. Kemijski sastav cementa i letećeg pepela

Vezivo/Oksidi (%)	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	MnO	Na ₂ O	K ₂ O	Gubitak žarenjem (%)
Cement CEM I 52,5N	19,74	63,35	5,33	2,25	2,72	0,18	0,30	0,84	1,34
Leteći pepeo	55,8	5,29	19,20	8,85	2,88	-	-	-	5,60

Tablica 2. Sastav betonskih mješavina

Mješavina	v/c	Dodatak (kg)	Cement (kg)	Leteći pepeo (kg)	Polipropilenska vlakna (kg)	Agregat (kg)				
						dolomitni agregat, 0-4 mm	dolomitni agregat, 4-8 mm	dolomitni agregat, 8-16 mm	zgura, 4-8 mm	zgura, 4-8 mm
R	0,43	3,20	400	-	-	807	367	661		
ZSI	0,43	3,20	400	-	-	864	-	-	422	723
ZSI+PP	0,43	3,20	400	-	0,91	864	-	-	422	723
ZSI+LP	0,43	3,00	320	80	-	864	-	-	422	723
ZSI+LP+PP	0,43	3,00	320	80	0,91	864	-	-	422	723

Sastav betonskih mješavina prikazan je u tablici 2., a svojstva betonskih mješavina u svježem stanju prikazana su u tablici 3. Sva ispitivanja svježeg betona obavljena su u skladu s vrijedećim hrvatskim normama; gustoća se mjerila u skladu s HRN EN 12350-6:2009 [11], sadržaj pora u skladu s HRN EN 12350-7:2000 [12] te konzistencija po metodi slijeganja prema HRN EN 12350-2:2000 [13]. Gustoća čestica na zasićenoj i površinski suhoj osnovi iznosila je $2,75 \text{ kg/dm}^3$ za dolomitni agregat te $3,21 \text{ kg/dm}^3$ za zguru iz Siska. Prilikom pripreme mješavina, agregati su bili u zasićenom i površinski suhom stanju.

Tablica 3. Svojstva svježeg betona

Oznaka mješavine	Gustoća (kg/m^3)	Sadržaj pora (%)	Konzistencija (mm)
R	2530	0,9	200
ZSI	2643	2,0	200
ZST+PP	2637	3,5	190
ZST+LP	2615	2,4	200
ZST+LP+PP	2563	2,8	190

2.2 Izrada i njega uzoraka

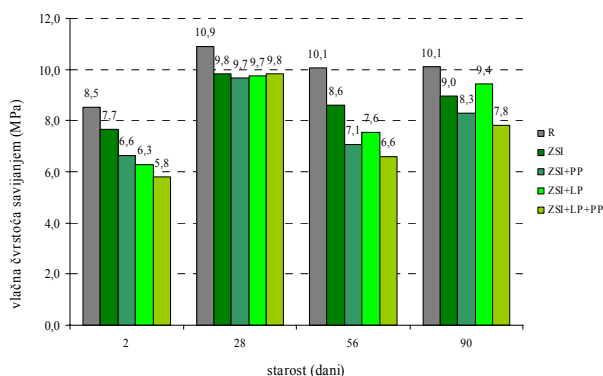
Radi procjene razvoja vlačne i tlačne čvrstoće u vremenu, ispitane su betonske prizme izmjera 10/10/40 cm pri starosti betona od 2, 28, 56 i 90 dana. Statički modul elastičnosti ispitivan je na prizmama istih izmjera starosti betona 56 dana. S namjerom utvrđivanja ostvarenog razreda čvrstoće po pojedinoj betonskoj mješavini, ispitane su betonske kocke brida 15 cm u starosti od 28 dana.

U starosti betona od 24 h, uzorci prizama i kocaka izvađeni su iz kalupa i potopljeni u vodu gdje su ostavljeni idućih 7 dana. Nakon vađenja iz vode uzorci su ostavljeni u vlažnoj komori Instituta IGH – PC Osijek, u uvjetima $95 \pm 5 \%$ vlažnosti i temperaturi od $20 \pm 2^\circ \text{C}$ do 28. dana starosti betona. Nakon isteka 28 dana, uzorci kocaka i dio uzoraka prizama su ispitani, a preostali dio uzoraka prizama je izvađen iz vlažne komore i u nastavku odložen u laboratorij Građevinskog fakulteta u Osijeku do 90. dana starosti.

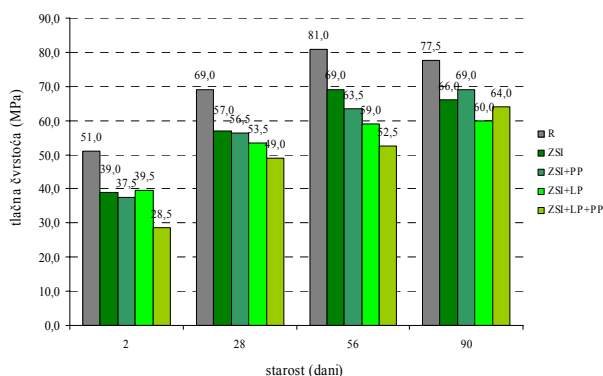
2.3 Rezultati ispitivanja i diskusija

Vlačna čvrstoća savijanjem ispitana je sukladno HRN EN 12390-5:2001 [14]. Radi smanjenja broja ispitnih uzoraka, procjena razvoja tlačne čvrstoće u vremenu obavljena je ispitivanjem polovica prizama nastalih nakon ispitivanja vlačne čvrstoće savijanjem. Statički modul elastičnosti ispitivan je sukladno HRN U.M1.025:1982 [15]. Tlačna čvrstoća betona na kockama brida 15 cm ispitana je sukladno HRN EN 12390-3:2002 [16]. Rezultati ispitivanja vlačnih čvrstoća savijanjem prikazani su na slici 2., a rezultati ispitivanja tlačnih čvrstoća na

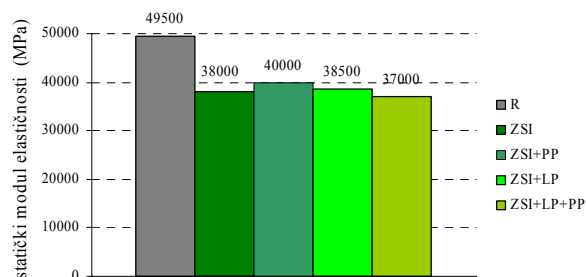
polovicama prizama prikazani su na slici 3. Rezultati ispitivanja statičkog modula elastičnosti prikazani su na slici 4. Slika 5. prikazuje tlačne čvrstoće betonskih mješavina na kockama brida 15 cm. Svaki od prikazanih rezultata ispitivanja je srednja vrijednost od triju izmjerenih vrijednosti.



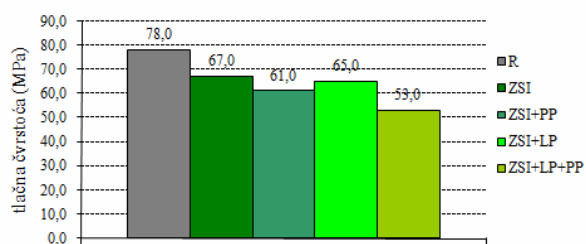
Slika 2. Razvoj vlačne čvrstoće savijanjem u vremenu



Slika 3. Razvoj tlačne čvrstoće u vremenu



Slika 4. Statički modul elastičnosti



Slika 5. Tlačne čvrstoće na betonskim kockama brida 15 cm

Iz slika 2. i 3. vidljivo je da su vlačne i tlačne čvrstoće betona sa zgurom u sastavu (ZSI, ZSI+PP, ZSI+LP, ZSI+LP+PP) manje od istih vrijednosti kod referentnog betona (R) tijekom cijeloga promatranog razdoblja. Međutim, razlika u ostvarenim tlačnim i vlačnim čvrstoćama kod skupine uzoraka sa zgurom u sastavu i referentnog betona smanjivala se tijekom vremena. Pri većoj starosti uzorci sa zgurom ostvarili su tek nešto manje vrijednosti vlačne čvrstoće i tlačne čvrstoće u odnosu na referentnu mješavinu (R) te na taj način opravdali svoju primjenu u svrhu izrade konstrukcijskog betona. Nije zamijećen doprinos polipropilenskih vlakana vlačnoj čvrstoći betona – mješavina ZSI+PP nije imala veću vlačnu čvrstoću od mješavine ZSI kao ni mješavina ZSI+LP+PP u odnosu na mješavinu ZSI+LP. Nasuprot rezultatima prikazanim u [17], gdje je leteći pepeo znatno pridonio tlačnoj čvrstoći betona pri kasnijoj starosti uzoraka, ovdje taj učinak nije zapažen.

Na slici 4. prikazane su vrijednosti modula elastičnosti izmjerene na betonskim uzorcima u 56. danu starosti. Moduli elastičnosti betona sa zgurama manji su od modula elastičnosti referentnog betona no opet unutar vrijednosti modula elastičnosti betona za primjenu u konstrukcijskim elementima. Usporedbom vrijednosti modula mješavine ZSI s vrijednostima modula mješavina ZSI+PP, ZSI+LP i ZSI+LP+PP zaključuje se da zamjena dijela cementa letećim pepelom i dodatak polipropilenskih vlakana nisu znatnije utjecali na statički modul kod skupine mješavina sa zgurom.

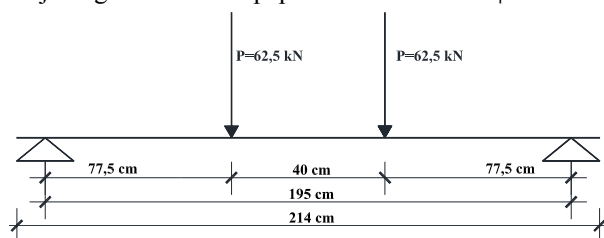
Ostvarene tlačne čvrstoće betona na kockama brida 15 cm u starosti od 28 dana prikazane na slici 5. još jednom potvrđuju mogućnost primjene domaće zgure kao agregata u betonu – tlačne čvrstoće betona sa zgurom uglavnom su manjih vrijednosti od čvrstoća referentnog betona no zadovoljavajuće za primjenu u konstrukcijskim elementima. Dodatak letećeg pepela i polipropilenskih vlakana negativno su utjecali na tlačnu čvrstoću mješavina sa zgurom.

Na temelju ostvarenih tlačnih i vlačnih čvrstoća te modula elastičnosti i usporedbom s istim vrijednostima kod referentnog betona, autori rada zaključuju da zgura iz Siska u konstrukcijskom betonu može biti zamjena za agregat iz prirodnih resursa.

U nastavku rada usporedit će se ponašanje armiranobetonskih greda sa zgurom kao agregatom u sastavu betona s ponašanjem armiranobetonske grede s dolomitnim agregatom u sastavu betona (mješavina R). S obzirom na velike izmjerene vrijednosti gustoća svježih betonskih mješavina sa zgurom u sastavu, a s ciljem zadržavanja u području betona obične težine ($< 2\,600\text{ kg/m}^3$), za izradu armiranobetonske grede sa zgurom u sastavu odabrana je mješavina sa najmanjom ostvarenom gustoćom – mješavina ZSI+LP+PP.

3 Ponašanje armiranobetonskih greda sa zgurom kao agregatom

Armiranobetonske grede izmjera 30/25/214 cm dimenzionirane su na djelovanje dviju koncentriranih sila od 62,5 kN prema shemi opterećenja prikazanoj na slici 6. Statički raspon grede pri ispitivanju iznosio je 195 cm. Usvojena kvaliteta betona u proračunu je $f_{ck,cube15} = 53\text{ MPa}$ za beton mješavine ZSI+LP+PP te $f_{ck,cube15} = 78\text{ MPa}$ za beton mješavine R. Usvojena kvaliteta armaturnog (betonskog) čelika je B 500 B. Kod oba je tipa greda težište uzdužne armature udaljeno $d_1 = 5,1\text{ cm}$ od donjeg ruba poprečnog presjeka. Usvojena je uzdužna armatura od $3\phi 16$ kod grede R te $4\phi 16$ kod grede ZSI+LP+PP. Obje su grede armirane poprečnom armaturom $\phi 10/10\text{ cm}$.



Slika 6. Proračunska shema opterećenja grede

Nosivost grede ispitana je u 56. danu starosti. Pri ispitivanju su grede opterećene s dvije koncentrirane sile kako je to prikazano na slici 6. U svrhu utvrđivanja nosivosti, zbog unošenja opterećenja mjereni su pomaci (slika 7.) grede i deformacije grede (slika 8.). Pomaci su se mjerili u tri točke; na mjestima unosa sile i u sredini raspona grede. Deformacije su mjerene na gornjem i donjem rubu grede. Izgled grede nakon sloma prikazan je slikama 9. i 10.



Slika 7. Mjerenje pomaka grede pri unosu opterećenja



Slika 8. Mjerenje deformacija u srednjem presjeku grede pri unosu opterećenja



a) VLAČNO PODRUČJE

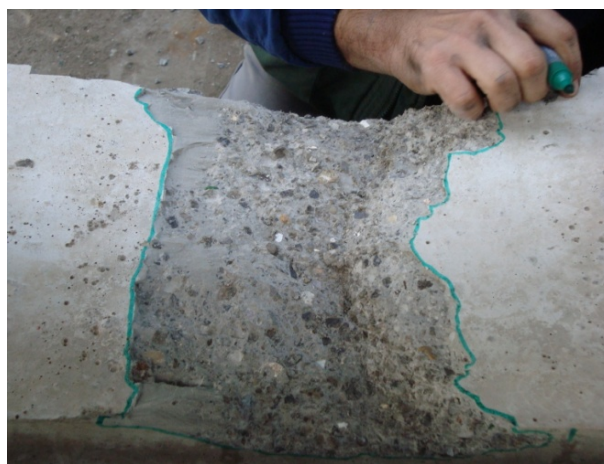


b) TLAČNO PODRUČJE

Slika 9. Izgled grede R nakon sloma



a) VLAČNO PODRUČJE



b) TLAČNO PODRUČJE

Slika 10. Izgled grede ZSI+LP+PP nakon sloma

3.1 Rezultati ispitivanja greda

Usporedbom rezultata referentne grede R i grede ZSI + LP+PP može se vidjeti da je njihovo ponašanje tijekom opterećenja do sloma vrlo slično (slike 11. i 12.).

Početne su deformacije obiju greda približno u linearnom odnosu s opterećenjem, sve do nastanka prve pukotine. Prva pukotina nastaje pri veličini momenta:

$$M_{cr} = f_{ct,m} \frac{bh^2}{6} \quad (1)$$

gdje je :

$$f_{ct,m} = 0,3\sqrt[3]{f_{ck}^2} \quad \text{- srednja vlačna čvrstoća betona}$$

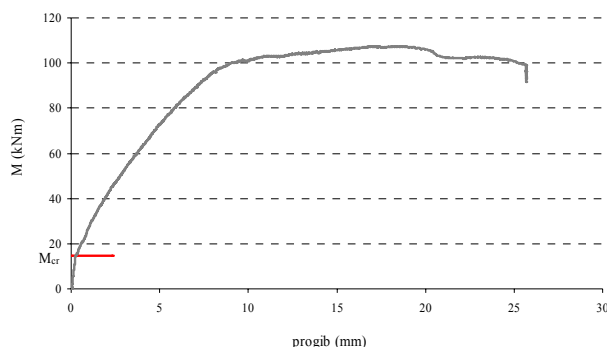
b - širina presjeka

h - visina presjeka.

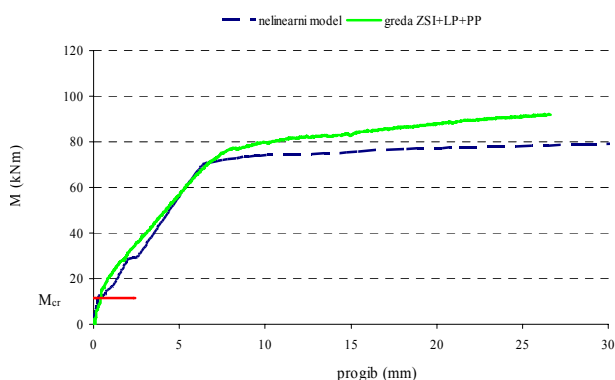
Kako su ispitivanja tlačne čvrstoće provedena na kockama stranica 15 cm, dobivena tlačna čvrstoća betona ko-

rigirana je približnim odnosima tlačnih čvrstoća probnih tijela različitih oblika [18] koeficijentom 0,95/1,20 da bi se procijenila tlačna čvrstoća valjaka f_{ck} . Na taj način su dobiveni proračunski momenti nastanka prve pukotine $M_{cr} = 14,62$ kNm za gredu R te $M_{cr} = 11,31$ kNm za gredu ZSI + LP + PP. Na slikama 11. i 12. označeni su ovi momenti i može se primijetiti da promjena krutosti obiju greda nastaje pri predviđenom momentu M_{cr} . Nakon nastanka prve pukotine progibi su i dalje približno proporcionalni opterećenju. Daljnjim povećanjem opterećenja izraženija je nelinearna veza progiba i opterećenja sve do početka plastičnog popuštanja armature, nakon čega su obje grede pokazale izrazito duktilno ponašanje, kao što se i očekivalo. Međutim, primijećena je razlika u izgledu i rasporedu pukotina (slike 9.a i 10.a). Dok su pukotine na referentnoj gredi R (greda s uobičajenom smjesom betona) užje i gušće raspoređene, greda ZSI + LP + PP pokazala je drugačiju sliku pukotina: pukotine su šire i na većem razmaku. Ovo se može pripisati različitom broju šipki koje su ugrađene u grede, ali da bi se

utvrdilo ponašaju li se elementi s mješavinom ZSI + LP + PP uvijek na ovaj način potrebno je provesti daljnja ispitivanja na većem broju uzoraka.



Slika 11. Dijagram moment – progib za gredu R



Slika 12. Dijagram moment – progib za gredu ZSI+LP+PP

Radi usporedbe i provjere rezultata napravljen je i nelinearni numerički model armiranobetonske grede te je crtkanom linijom (slika 12.) prikazan dijagram moment–progib. Pokazalo se vrlo dobro poklapanje s eksperimentalnim rezultatima. Prva pukotina nastala je pri momentu M_{cr} , a numerički nelinearni model točno je predvidio i daljnje smanjenje krutosti presjeka zbog širenja pukotina. Može se uočiti nepoklapanje između eksperimenta i modela za trenutak pojave plastičnog popuštanja armature. Ovaj ekperiment upućuje na to da je za mješavinu betona ZSI+LP+PP moguće primijeniti neki od uobičajenih modela armiranog betona [19, 20], ali su potrebna ispitivanja na većem broju uzoraka.

4 Zaključak

U radu je istražena mogućnost primjene zgure iz čeličane s odlagališta u Sisku, kao agregata u betonu namijenjenog ugradnji u konstrukcijske elemente na uzorku agregata dobivenom prosijavanjem/frakcioniranjem zgure u laboratoriju. Mogućnost primjene zgure kao zamjene za uobičajeni agregat procijenjena je na razini betona kao materijala i na razini armiranobetonskog elementa. Uvidom u ostvarena mehanička svojstva (tlačne čvrstoće, vlačne čvrstoće i module elastičnosti) betona sa zgurum, autori zaključuju kako je ovu zguru moguće upotrijebiti kao agregat u betonu koji je namijenjen ugradnji u konstrukcijske elemente. Uvidom u dijagrame moment–progib, autori zaključuju da je ponašanje armiranobetonskih greda sa zgurum u sastavu vrlo slično ponašanju armiranobetonskih greda sa dolomitnim agregatom u sastavu. Ovo, opet, govori u prilog mogućnosti primjene zgure kao zamjene za uobičajeni agregat u betonu. Ipak, ovdje treba naglasiti da se radi o laboratorijski pripremljenom uzorku zgure koji se uveliko razlikuje od zgure na odlagalištu. Laboratorijski pripremljen uzorak zgure dobiven je nizom pomoćnih radnji kojima se od veće količine otpadnog materijala dobila manja količina iskoristivog agregata. Pomoćne radnje su ovdje uključivale: ručno izdvajanje velikih komada zgure i otpada te metala, ručno prosijavanje preostalog materijala i razdvajanje u frakcije, pranje frakcija agregata te ručno izdvajanje zrna agregata koja u sebi sadrže velik udio metala. S obzirom na to da su se navedene radnje provodile na otvorenom i zgura je bila izložena djelovanju atmosferilija, bilo je dovoljno vremena da slobodni CaO i MgO u zguri koji utječu za njezinu obujamsku nestabilnost [21, 22] reagiraju, što je učinilo zguru obujamski stabilnom i prikladnom za primjenu u betonu. Međutim, zgura uzeta neposredno s odlagališta mogla bi pokazati obujamsku nestabilnost. Ako bi zgura pokazala obujamsku nestabilnost, preporučuje se izložiti je djelovanju atmosferilija u određenom razdoblju ili jednoj od ubrzanih metoda starenja zgure kao što su zaparivanje ili zaparivanje pod tlakom [23] kojima se učinkovito može suzbiti taj problem. Primjenom ubrzane metode starenja zasigurno će se povećati troškovi proizvodnje zgure kao agregata, ali će se ujedno i omogućiti njezino odlaganje kao otpadnog materijala te pridonijeti očuvanju materijala iz prirodnih izvora.

Zahvala

Istraživanja prikazana u ovome radu provedena su u sklopu međunarodnog projekta „E/4166 – EUREKABUILD FIRECON“ i znanstvenog projekta Ministarstva obrazovanja, znanosti i sporta „Potencijal seizmičke oštetljivosti urbanih područja“ (149-1492966-2547). Autori se zahvaljuju na novčanoj potpori iz navedenih projekata.

LITERATURA

- [1] Dunster, A. M.: *Blast furnace slag and steel slag as aggregates: A review of their uses and applications in UK construction*, 3rd European Slag Conference – Proceedings “Manufacturing and Processing of Iron and Steel Slags”, Euroslag Publication, Keyworth, UK, 2002., 21-29.
- [2] Maslehuddin, M.; Sharif, A. M.; Shameem, M.; Ibrahim, M.; Barry, M. S.: *Comparison of properties of steel slag and crushed limestone aggregate concretes*, Construction and Building Materials 17 (2003) 2, 105-112
- [3] Zelić, J.: *Properties of concrete pavements prepared with ferrochromium slag as concrete aggregate*, Cement and Concrete Research 35 (2005) 12, 2340-2349
- [4] Qasrawi, H.; Shalabi, F.; Asi, I.: *Use of low CaO unprocessed steel slag in concrete as fine aggregate*, Construction and Building Materials 23 (2009) 2, 1118-1125
- [5] *New Standards on Recycled Aggregates and Molten-Slag in Japan*, www.jsce.or.jp/committee/concrete/e/newsletter/newsletter08/Recycled%20Aggregates%20and%20Molten-Slag.pdf
- [6] HRN EN 12620/AC:2006 Agregati za beton
- [7] Netinger, I.; Jelčić Rukavina, M.; Bjegović D.: *Mogućnost primjene domaće zgure kao agregata u betonu*, Građevinar 62 (2010) 1, 35-43
- [8] Tehnički propis za betonske konstrukcije (TPBK), NN 139/2009 novo izdanje
- [9] Seferović, E.: *Polipropilenska vlakna u podgradi tunela Sveti Rok*, Građevinar 54 (2002) 9, 535-539
- [10] Skazlić, M.; Rosković, R.; Banjad Pečur, I.: *Svojstva samozbijajućeg betona s velikim udjelom letećeg pepela*, Građevinar 60 (2008) 11, 945-952
- [11] HRN EN 12350-6:2009 Ispitivanje svježeg betona – 6. dio: Gustoća
- [12] HRN EN 12350-7:2000 Ispitivanje svježeg betona – 7. dio: Sadržaj pora – Tlačna metoda
- [13] HRN EN 12350-2:2000 Ispitivanje svježeg betona – 2. dio: Ispitivanje slijeganjem
- [14] HRN EN 12390-5:2009 Ispitivanje očvrsluloga betona – 5. dio: Čvrstoća ispitnih uzoraka na savijanje
- [15] HRN U.M1.025:1982 Beton - Određivanje statičkog modula elastičnosti pritiskom
- [16] HRN EN 12390-3:2002 Ispitivanje očvrslulog betona – 3. dio: Tlačna čvrstoća uzoraka
- [17] Chindaprasirt, P.; Jaturapitakkul, C.; Sinsiri, T.: *Effect of fly ash fineness on compressive strength and pore size of blended cement paste*, Cement & Concrete Composites 27 (2005) 425-428
- [18] Tomićić, I.: *Betonske konstrukcije*, Zagreb, Sveučilište u Zagrebu, 1996.
- [19] Mander, J. B.; Priestley, M. J. N.; Park, R.: *Theoretical stress-strain model for confined concrete*, Journal of Structural Engineering 114 (1988) 8, 1804-1826
- [20] Madas, P.; Elnashai, A. S.: *A new passive confinement model for transient analysis of reinforced concrete structures*, Earthquake Engineering and Structural Dynamics 21 (1992), 409-431
- [21] Emery, J.: *Steel slag utilization in asphalt mixes*, National Slag Association Report MF 186-1, Canadian Technical Asphalt Association Proceedings, www.nationalslag.org/archive/legacy/nsa_186-1_steel_slag_utilization_in_asphalt_mixes.pdf
- [22] Lewis, D. W.: *Properties and uses of iron and steel slags*. National Slag Association Report MF 182-6; Presentation at symposium on slag, South Africa, www.nationalslag.org/archive/legacy/nsa_182-6_properties_and_uses_slag.pdf
- [23] Da Silveira, N. O.; E Silva, M. V. A.; Agrizzi, E. J.; De Lana, M. F.; De Mendonca, R. L.: *ACERITA – Steel slag with reduced expansion potential*, 4th European Slag Conference – Proceedings “Slags-Providing Solutions for Global Construction and other Markets”, Euroslag Publication, Finland, 2005, 145-157